

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОВОЛОКИ ИЗ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ AL-РЗМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ СОВМЕЩЕННОЙ И КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ

DEVELOPING TECHNOLOGY OF OBTAINING WIRE FROM HIGH ALLOYED ALLOYS AL-REM SYSTEM USING THE METHODS OF COMBINED AND COMPO TREATMENT

Ворошилов Д.С.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет», Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный 79, office@sfu-kras.ru.

This article presents the results of mechanical tests of the properties of wire from alloys of Al-REM system obtained by methods of combined rolling-extruding and combined casting and rolling- extruding.

Keywords: combined processes, rolling, extruding, drawing, wire, mechanical properties.

Деформированные длинномерные полуфабрикаты в виде проволоки, прутков, катанки из технического алюминия и его сплавов широко применяют для изготовления продукции электротехнического назначения. В последнее время возникла потребность в деформированных полуфабрикатах из сплавов алюминия с редкоземельными металлами (РЗМ), обладающих повышенными прочностными свойствами и термостойкостью. В связи с этим они широко применяются для изготовления электропроводников для летательных аппаратов, работающих при повышенных температурах (до 250 °С).

Для производства проволоки из таких сплавов применялась многоступенчатая технология, включающая 17 технологических переделов. Это приводило к высокой себестоимости этих полуфабрикатов, обусловленной высокой трудоемкостью производства и большими энергозатратами. В последнее время развитие получили технологии, включающие получение литой заготовки в электромагнитном кристаллизаторе (ЭМК) и ее дальнейшую обработку методами ОМД, например, с помощью совмещенной прокатки-прессования (СПП). Целесообразно также использование метода совмещенного литья и прокатки-прессования (СЛИПП), характеризующегося минимальной трудоемкостью и энергоемкостью процесса изготовления длинномерных полуфабрикатов небольшого поперечного сечения [1].

Применение методов СПП и СЛИПП для получения таких пресс-изделий из труднодеформируемых сплавов, например, сплавов системы Al-РЗМ, изучено мало и требует проведения дополнительных экспериментальных и теоретических исследований. Кроме того, в имеющейся научно-технической литературе приводятся данные о преимуществах применения схемы процесса прокатки-прессования с одним приводным валком, что требует более глубокого изучения, так как выбор схемы реализации процесса совме-

щенной обработки, особенно для высокопрочных сплавов, является определяющим.

Задача по изучению формоизменения металла модельного образца, подвергнутого прокатке-прессованию с одним приводным валком, решалась с помощью метода координатной сетки. Полученное изменение формы заготовки после деформации металла сопоставлялось с недокатом, полученным по схеме СПП с двумя приводными валками.

Анализируя формоизменение металла можно отметить, что в момент максимального обжатия при прокатке боковые стенки калибра имеют полный контакт с боковыми гранями заготовки, как и в случае с двумя приводными валками. Однако после прохождения зоны максимального обжатия при прокатке наблюдается отставание металла от поверхности неприводного вала, что обусловлено различными скоростями течения металла на контакте с валковым инструментом.

В связи с этим были проведены исследования реализуемости процесса СПП с одним приводным валком и сравнение результатов расчетов с реализуемостью процесса, когда оба вала являются приводными.

Реализуемость процесса оценивали с помощью коэффициента $K_y = \frac{P_1 - P_2 \lambda}{P_1} \cdot 100\%$ (P_1 –

усилие, подводимое валками за счет сил трения, P_2 – усилие, необходимое для выдавливания металла через отверстие матрицы, λ – коэффициент, характеризующий отношение текущей скорости металла к скорости валков), полученного из условия равенства мощностей, подводимых валками и затрачиваемых на выдавливание металла. Результаты расчетов приведены на рис. 1, при этом установлено, что коэффициент реализуемости K_y для процесса СПП с одним приводным валком в среднем ниже на 20 %, по сравнению со схемой с двумя приводными валками.

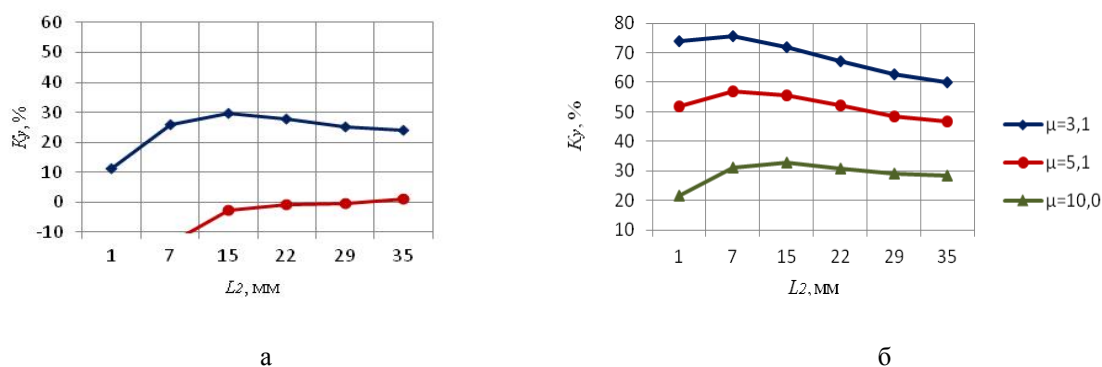


Рис. 1. Изменение коэффициента реализуемости процесса СПП для сплава системы Al – PЗМ в зависимости от коэффициента вытяжки μ и величины удаления матрицы от общей оси валков L_2 при степени деформации при прокатке $\varepsilon = 50 \%$: а – с одним приводным валком; б – с двумя приводными валками

Однако проведенные исследования показали, что применение данной схемы обработки целесообразно тогда, когда ставится задача по снижению энергосиловых затрат процесса. Для снижения неравномерности деформации металла, а также гарантированной реализуемости процесса СПП целесообразно применение схемы процесса с двумя приводными валками, а увеличение энергетических затрат на продавливание металла можно компенсировать за счет снижения степени деформации (вытяжки).

Исследования проводились на экспериментальном сплаве, содержащем такие PЗМ, как *Ce*, *La*, *Pr* в количестве 7–9 %. Химический состав сплава был близок к сплаву марки 01417, регламентированный ТУ 1-809-1038-96.

Варьируемыми факторами являлись следующие: температура (T), скорость деформации ($\dot{\varepsilon}$) и коэффициент вытяжки (μ). Экспериментальные исследования проводились в следующем порядке. На первом этапе с помощью ЭМК получали литые заготовки с максимальным диаметром до 17 мм для последующей СПП. В результате анализа микроструктуры полученных слитков было выявлено, что структура представляет собой дендриты алюминиевого твердого раствора и эвтектику ($\alpha + \text{Al}_4\text{M}$), где М – мишметалл, в состав которого входят церий и лантан [2]. Для замера энергосиловых параметров установка была снабжена тензометрической аппаратурой, позволяющей фиксировать усилие на валках и матрице. В результате экспериментальных исследований были получены прутки диаметром 5, 7 и 9 мм двумя методами (СПП и СЛИПП).

Результаты экспериментальных исследований по изучению энергосиловых параметров процессов СПП и СЛИПП приведены в таблице 1.

Анализ полученных данных показал, что усилия, действующие на инструмент (на валки и на матрицу) ниже при использовании метода СЛИПП, что можно объяснить более высокими температурами металла в очаге деформации, и как следствие, меньшими значениями сопротивления деформации металла. При этом максимальные усилия не превышают значений 550 кН, что в

сравнении с усилиями традиционного прессования на горизонтальных гидравлических прессах таких же полуфабрикатов при заданных технологических параметрах ниже в 2–3 раза.

Затем были проведены замеры механических свойств и электросопротивления на прутках, полученных по различным технологиям. Результаты показали, что значения этих параметров соответствуют ТУ 1-809-1038-96.

Также при разработке новых технических решений актуальной задачей является решение вопросов, связанных с автоматизацией процесса, улучшением качества пресс-изделий и охлаждением рабочего инструмента. Для реализации таких способов были разработаны новые технические решения для совмещенной обработки сплавов системы Al-PЗМ, защищенные патентами РФ № 101390 [3], № 102313, № 102542. Применение этих устройств позволяет повысить производительность процесса прокатки-прессования и качество получаемых пресс-изделий.

С использованием новых технических решений была разработана технология получения проволоки электротехнического назначения из исследуемого сплава системы Al-PЗМ с применением метода СЛИПП для получения заготовки под последующее волочение до диаметра 0,3 мм. При этом следует отметить, что пластичность полученной заготовки была достаточной, поэтому не потребовалось ни одного промежуточного отжига.

Полученные в ходе исследований опытные партии деформированных полуфабрикатов были переданы в ООО НТЦ «Авиаспецсплав» (г. Москва) для получения проволоки заданных диаметров для электропроводников, используемых при производстве летательных аппаратов. Документально подтверждено, что результаты научных исследований, заключающиеся в разработке технологии получения длинномерных полуфабрикатов из высоколегированных сплавов системы Al-PЗМ, предназначенных для производства проволоки электротехнического назначения, внедрены в производство и позволяют повысить его эффективность.

Результаты экспериментальных исследований силовых параметров экспериментального сплава по методу СПП и СЛИПП

СПП							
Параметры		$T = 480\text{ }^{\circ}\text{C}$			$T = 550\text{ }^{\circ}\text{C}$		
		$\mu = 3,1$	$\mu = 5,1$	$\mu = 10,0$	$\mu = 3,1$	$\mu = 5,1$	$\mu = 10,0$
$\xi = 0,74\text{ c}^{-1}$	$R_{\text{вал}}, \text{кН}$	452,4	484,0	539,5	340,0	368,8	372,0
	$R_{\text{матр}}, \text{кН}$	387,1	445,8	559,4	358,9	402,2	493,2
$\xi = 1,49\text{ c}^{-1}$	$R_{\text{вал}}, \text{кН}$	410,1	453,8	502,7	312,4	346,6	350,4
	$R_{\text{матр}}, \text{кН}$	377,6	425,7	539,1	339,5	368,4	469,5
СЛИПП							
Параметры		$T = 750\text{ }^{\circ}\text{C}$			$T = 780\text{ }^{\circ}\text{C}$		
		$\mu = 3,1$	$\mu = 5,1$	$\mu = 10,0$	$\mu = 3,1$	$\mu = 5,1$	$\mu = 10,0$
$\xi = 0,74\text{ c}^{-1}$	$R_{\text{вал}}, \text{кН}$	372,5	384,3	397,3	291,3	305,8	321,9
	$R_{\text{матр}}, \text{кН}$	267,1	298,0	367,4	230,9	254,2	315,2
$\xi = 1,49\text{ c}^{-1}$	$R_{\text{вал}}, \text{кН}$	350,2	376,8	382,5	262,2	281,9	303,4
	$R_{\text{матр}}, \text{кН}$	225,2	255,7	333,1	187,5	215,7	269,5

Таким образом, в результате проведенных исследований с применением новых технических решений была разработана технология производства электротехнической проволоки из высоколегированных сплавов системы Al-PZM на базе применения методов совмещенной обработки.

Данная работа выполнялась в рамках Постановления Правительства РФ № 218 «О мерах государственной поддержке развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Загиров Н.Н.. Комбинированные и совмещенные методы обработки цветных металлов и сплавов: монография. – М.: МАКС Пресс, 2005. – 344 с.

2. Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Баранов В.Н. и др. Исследование структуры и свойств деформированных полуфабрикатов из низколегированных сплавов системы Al-PZM, полученных с использованием метода совмещенного литья и прокатки-прессования. Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – Магнитогорск, 2011. – №4. – с. 40–43.

3. Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Беляев С.В. и др. Устройство для непрерывной прокатки и прессования. Патент РФ № 101390. Оpubл. 20.01.2011, Бюл. №2.